

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

09/807055



|                   |     |
|-------------------|-----|
| REC'D 24 OCT 2000 |     |
| WIPO              | PCT |

DE 00/02548

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

E J U

**Aktenzeichen:** 100 35 783.0

**Anmeldetag:** 22. Juli 2000

**Anmelder/Inhaber:** ROBERT BOSCH GMBH, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Vorrichtung zur Überwachung eines Messsystems  
eines elektrischen Antriebs

**Priorität:** 07.08.1999 DE 199 37 480.5

**IPC:** H 02 H, G 05 B, H 02 P

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 12. Oktober 2000  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident

Im Auftrag

*Frank*

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

RUST

04.07.00 Lc/Ep

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Vorrichtung zur Überwachung eines Meßsystems eines elektrischen Antriebs

Stand der Technik

15

20

30

35

Die Erfindung geht aus von einer Vorrichtung zur Überwachung eines Meßsystems eines elektrischen Antriebs nach der Gattung des unabhängigen Anspruchs. Aus der DE 43 30 823 C2 ist eine Antriebsvorrichtung mit einer Sicherheitseinrichtung für den Sonderbetrieb bekannt. Hierbei ist zur Überwachung des Motors eine redundante Sicherheitseinrichtung vorgesehen, welche in einer Sonderbetriebsart die Drehzahl des Motors auf Einhaltung eines vorgegebenen Höchstwertes überwacht und die Energiezufuhr zum Motor unterbricht, wenn die Drehzahl größer ist als der vorgegebene Höchstwert. Zur Bestimmung der Drehzahl werden zwei verschiedene Signale in der Weise erfaßt, daß das erste Signal von einem Drehzahl-sensor gewonnen wird, und das zweite Signal aus dem zeitlichen Verlauf des hierfür mittels eines weiteren Sensor erfaßten Stromes in wenigstens einer der Phasenzuleitungen zum Motor abgeleitet wird. Überschreitet die erfaßte Drehzahl einen vorgegebenen Höchstwert, wird die Energiezufuhr zum Motor durch Schalten eines einem Netzgleichrichter davorgeschalteten Leistungsschalters sowie durch zusätzliches Abschalten des Wechselrichters unterbrochen. Eine Überwachung des Drehzahlsensors anhand des Stromverlaufs ist

lastabhängig und daher relativ ungenau. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Überwachungssystem über den gesamten Drehzahlbereich hinweg anzugeben, das ohne einen weiteren Drehzahlsensor auskommt.

5

#### Vorteile der Erfindung

10

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Überwachung eines Meßsystems eines elektrischen Antrieb umfaßt zumindest ein Meßsystem zur Erfassung einer Meßgröße eines elektrischen Antriebs sowie zumindest einen Regler, dem zumindest die von dem Meßsystem erfaßte Meßgröße zugeführt ist, und der zumindest eine Stellgröße zur Ansteuerung des Antriebs erzeugt. Es ist zumindest eine Signalverarbeitung zur Fehlererkennung des Meßsystems vorgesehen. Dadurch wird eine frühzeitige Fehlererkennung des Antriebssystems erreicht, wenn ein Fehler des Meßsystems vorliegt.

15

20

In einer zweckmäßigen Weiterbildung ist vorgesehen, dass der Signalverarbeitung zur Fehlererkennung des Meßsystems zumindest eine von dem Regler erzeugte Größe zugeführt ist. Durch eine geschickte Auswahl der auszuwertenden Reglergröße kann auf eine zusätzliche Signalerfassung zur Fehlererkennung verzichtet werden. Da der Regler ohnehin bei dem Antriebssystem zur Verfügung steht, kann mit einfachen Mitteln die Störsicherheit des Systems verbessert werden.

30

In einer zweckmäßigen Ausgestaltung ist der Signalverarbeitung zur Fehlererkennung des Meßsystems zumindest eine von dem Meßsystem erzeugte und/oder daraus abgeleitete Größe zugeführt. Die Einbeziehung einer weiteren auszuwertenden Größe erhöht die Zuverlässigkeit der Fehlererkennung. Werden insbesondere mehrere Fehlererkennungsmöglichkeiten vorgesehen, so kann die Auswertung der von dem Meßsystem bereitge-

stellten Größe zur Plausibilität der Fehlererkennung herangezogen werden.

5 Einer weiteren zweckmäßigen Ausgestaltung ist zur Fehlererkennung des Meßsystems ein Meßsystemmodell vorgesehen, das zumindest einen für das Meßsystem zu erwartenden Schätzwert erzeugt. Die Berücksichtigung der Schätzgröße des Meßsystemmodells erhöht weiterhin die Zuverlässigkeit der Fehlererkennung und kann ebenfalls zu einer Plausibilitätsüberprüfung herangezogen werden.

10 Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Überwachung eines Meßsystems eines elektrischen Antriebs zeichnet sich dadurch aus, daß eine Signalverarbeitung ein einen Fehler des  
15 Meßsystems anzeigendes Fehlersignal erzeugt in Abhängigkeit von der Polradspannung. Die Polradspannung verändert sich, wenn das Meßsystem des elektrischen Antriebs, beispielsweise ein Drehzahl- oder Positionsgeber, schleift und dadurch ein Gebersersatz auftritt. Insbesondere die flußbildende Komponente der Polradspannung eignet sich als auszuwertende Größe.  
20 Be. Der gegenüber dem Normalfall auftretende Gebersersatz zum Polrad verändert die in Feldrichtung induzierte Spannung und steht auch während des laufenden Betriebs des elektrischen Antriebs zur Verfügung. Es können rechtzeitig Gegenmaßnahmen eingeleitet werden, wenn eine fehlerhafte Geberanordnung erkannt wird.

30 In einer zweckmäßigen Weiterbildung ist vorgesehen, eine Ausgangsgröße eines Längsstromreglers zur Erzeugung eines Fehlersignals heranzuziehen. Üblicherweise ist zur Regelung einer Synchron- bzw. Asynchronmaschine ein Längsstromregler zur Regelung der flußbildenden Stromkomponente vorgesehen. Aufgrund der zusätzlichen durch den Gebersersatz induzierten (Längs)Spannungskomponente bildet sich auch bei dem Längsstromregler eine Regelabweichung. Deshalb kann der Inte-  
35

5 gralanteil des Längsstromreglers als eine einen Geberversatz des Meßsystems anzeigende Größe ausgewertet werden, da der Integralanteil ein Maß ist für die zusätzlich durch den Geberversatz induzierte Längsspannung. Diese Größe steht am Regler ohnehin zur Verfügung und muß nicht eigens erzeugt werden.

10 Eine vorteilhafte Ausgestaltung sieht einen Vergleich der den Geberversatz anzeigenden Größe mit einem Grenzwert vor, der von den Reglerparametern und/oder den Streckenparametern abhängt. Insbesondere die Totzeitspannung in Folge der Schaltertotzeit der Ansteuerstufe, die induzierte Polradspannung in Folge der Totzeit des Querstromreglers oder die Parameterabweichungen von Induktivitäten und Widerständen können zu Regelabweichungen führen, die den Integralanteil des Längsstromreglers zusätzlich beaufschlagen. Da die Regler- und Streckenparameter in etwa bekannt sind, können sie bei der Wahl des Grenzwerts, mit dem der Integralanteil des Längsstromreglers verglichen wird, berücksichtigt werden. Die Genauigkeit der Fehlererkennung des Meßsystems erhöht sich dadurch.

30 Eine alternative Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, daß die aus dem Ausgangssignal des Meßsystems abgeleitete Beschleunigung des Antriebs ausgewertet wird. In dem sich anschließenden Vergleich mit bestimmten Grenzwerten wird eine fehlende mechanische Verbindung zwischen dem elektrischen Antrieb und dem Geber erkannt. In einer zweckmäßigen Weiterbildung wird diese Überwachung nur aktiv, wenn der von dem Regler des Antriebs vorgegebene Stromsollwert den maximal zulässigen Stromsollwert erreicht. In diesem Fall kann von einer kritischen Betriebssituation ausgegangen werden, die eventuell durch ein fehlerhaftes Meßsystem ausgelöst worden sein könnte. Diese Ausführungsform kann vorzugsweise als

Plausibilitätstest zu anderen Geberüberwachungen parallel ausgeführt werden.

5 In einer alternativen Ausführung ist zur Überwachung eines Meßsystems eines elektrischen Antriebs ein Drehzahlüberwachungsmodell vorgesehen, das in Abhängigkeit von bestimmten Eingangsgrößen einen Schätzwert des Ausgangssignals des Meßsystems erzeugt. Treten signifikante Abweichungen mit dem tatsächlichen Ausgangssignal des Meßsystems auf, wird auf  
10 ein fehlerhaftes Meßsystem geschlossen.

Bei einer zweckmäßigen Weiterbildung ist eine Auswahl-  
15 schaltung vorgesehen, die in Abhängigkeit von der geschätzten Drehzahl eine Auswahl der Überwachungsfunktion vorsieht. Bei hohen Drehzahlen kommt das Drehzahlüberwachungsmodell zum Einsatz. Da es bei niedrigen Drehzahlen unwirksam ist, wird für diesen Fall auf die Längsspannungsüberwachung zurückgegriffen. Dadurch wird sichergestellt, daß in jedem Drehzahlbereich ein Fehler des Meßsystems sicher erkannt wird.

20 Weitere zweckmäßige Weiterbildungen ergeben sich aus weiteren abhängigen Ansprüchen und aus der Beschreibung.

Zeichnung

Die Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden im folgenden näher beschrieben.

30 Es zeigen Figur 1 eine Reglerstruktur mit Überwachungseinrichtung einer Synchronmaschine, Figur 2 eine Reglerstruktur mit Überwachungseinrichtung einer Asynchronmaschine, Figur 3 ein Blockschaltbild einer Längsspannungsüberwachung, Figur 4 ein regelungstechnisches Ersatzschaltbild der Synchronmaschine im Normalfall, Figur 5 ein regelungstechnisches Ersatzschaltbild der Synchronmaschine im Fehlerfall, Figur 6  
35

ein Blockschaltbild der Überwachungseinrichtung für die Asynchronmaschine sowie Figur 7 ein Drehzahlüberwachungsmodell.

5

#### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

10

Ein Drehzahl-Lage-Geber 12 als Meßsystem erfaßt den Polradwinkel eines elektrischen Antriebs 10, in dem ersten Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1 ein Synchronmotor. Ein Umrichter 14, der von einem Pulsweitenmodulator 16 angesteuert wird, bestromt die drei Phasen des elektrischen Antriebs 10. Bei zwei der drei Phasen sind jeweils Stromsensoren 20 vorgesehen, deren Ausgangssignale I1, I3 einer Eingangstransformation 22 zugeführt sind. Die Eingangstransformation 22 erzeugt einen Querstrom-Istwert IQ\_IST und einen Längsstrom-Istwert ID\_IST. Über den ersten Differenzierer 30, dem der Polradwinkel zugeführt wird, entsteht die Größe  $\omega$ , aus der durch einen Integrator 26 ein Richtungswinkel  $\varphi$  gebildet wird. Aus dem Richtungswinkel  $\varphi$  stellt ein Sinus-Cosinus-Generator 28 die entsprechenden  $\sin(\varphi)$ - und  $\cos(\varphi)$ -Werte der Eingangstransformation 22 und der Ausgangstransformation 18 zur Verfügung. Aus der Ausgangsgröße des ersten Differenzierers 30 wird über einen Umsetzer 31 ein Sensor-Drehzahlwert  $n_{\text{sensor}}$  gebildet, der sowohl einem zweiten Differenzierer 32 als auch einem zweiten Summationspunkt 42 (mit negativem Vorzeichen) zugeführt wird. Das Ausgangssignal des zweiten Differenzierers 32 dient einem als Plausibilitätstest 34 bezeichneten Schaltungsteil als Eingangsgröße. Der Plausibilitätstest 34 erzeugt ein Plausibilitäts-Fehlersignal 35. Aus der am zweiten Summationspunkt 42 zur Verfügung stehenden Drehzahlabweichung aus Drehzahlsollwert  $n_{\text{soll}}$  und Sensor-Drehzahlwert  $n_{\text{sensor}}$  bildet ein Drehzahlregler 44 einen Querstrom-Sollwert IQ\_SOLL, der einem dritten Summationspunkt 46, dem Plausibilitätstest 34

15

20

30

35

sowie einer Entkopplung 50 zugeführt wird. Der von der Eingangstransformation 22 gebildete Querstrom-Istwert  $I_Q_{IST}$  dient als Eingangsgröße für den Plausibilitätstest 34 sowie - mit negativem Vorzeichen - für den dritten Summationspunkt 46. Die Regelabweichung von Querstrom-Sollwert  $I_Q_{SOLL}$  und Querstrom-Istwert  $I_Q_{IST}$  wird einem Querstromregler 48 zugeführt, der als PI-Regler ausgeführt ist. An einem vierten Summationspunkt 52 steht die Regelabweichung von Längsstromsollwert  $I_D_{SOLL}$  und Längsstrom-Istwert  $I_D_{IST}$ , von der Eingangstransformation 22 erzeugt, als Eingangsgröße für einen Längsstromregler 54 - ebenfalls als PI-Regler ausgeführt - zur Verfügung. Der Längsstrom-Sollwert  $I_D_{SOLL}$  nimmt für die Synchronmaschine den Wert Null an. Er ist ebenfalls der Entkopplung 50 zugeführt. In einem fünften Summationspunkt 56 wird eine Ausgangsgröße der Entkopplung 50 von dem Ausgangssignal des Querstromreglers 48 abgezogen, wodurch man einen Querspannungs-Sollwert  $U_Q_{SOLL}$  erhält. Analog wird an einem sechsten Summationspunkt 58 ein Längsspannungs-Sollwert  $U_D_{SOLL}$  erzeugt. Querspannungs- und Längsspannungs-Sollwerte  $U_Q_{SOLL}$ ,  $U_D_{SOLL}$  bilden die Eingangsgrößen für die Ausgangstransformation 18. Die Ausgangstransformation 18 setzt diese Werte zusammen mit  $\sin(\varphi)$  und  $\cos(\varphi)$  in zwei weitere Spannungs-Sollwerte  $U_{S1\_SOLL}$ ,  $U_{S2\_SOLL}$  um, die dem Pulsweitenmodulator 16 zugeführt sind.

Das Blockschaltbild gemäß Figur 2 zeigt die Reglerstruktur einer Asynchronmaschine. Sie ist im wesentlichen identisch mit der in Figur 1 gezeigten Reglerstruktur der Synchronmaschine, allerdings ist der Längsstrom-Sollwert  $I_D_{SOLL}$  nicht mehr auf den Wert Null festgelegt, sondern eine Ausgangsgröße eines Spannungsreglers 85. Der Spannungsregler 85 erhält als Eingangsgrößen den Querstromsollwert  $I_Q_{SOLL}$ , den Querspannungssollwert  $U_Q_{SOLL}$  und den Längsspannungssollwert  $U_D_{SOLL}$ . Der Integralanteil  $I\_ANTEIL\_D$  des Längsstromreglers 54 wird einem Längsspannungsregler 87 zugeführt, dessen Aus-

gangsgröße neben dem Schlupf  $\omega \cdot s$  und der Ausgangsgröße des Flußmodells 24 dem Summationspunkt 25 als Eingangsgröße dient.

5 Das Ausführungsbeispiel gemäß den Figuren 1 und 2 wird nun präzisiert und erweitert in Figur 3. Der Querstromregler 48 läßt sich darstellen durch eine Parallelschaltung eines Proportionalanteils 60 und eines Integralanteils 61 des Querstromreglers 48. Auch der Längsstromregler 54 besteht aus einem parallel geschalteten Proportionalanteil 63 und einem Integralanteil 64. Der Ausgang des Integrators 64 des Längsstromreglers 54 wird einem Komparator 73 zugeführt, der einen Grenzwert G erhält und ein Längsspannungs-Fehlersignal 75 erzeugt. Aus der Multiplikation der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  (Winkelgeschwindigkeit des d-q-Koordinatensystems) mit dem verketteten Fluß  $\psi_p$  ergibt sich die Polradspannung  $U_p$ , die dem fünften Summationspunkt 56 zugeführt wird. Die Entkopp-  
10 lung 50 wird realisiert durch ein erstes Proportionalglied 69 (Ständerwiderstand  $R_s$ ), ein zweites Proportionalglied 70 (Ständerinduktivität  $L_s$ ) und ein drittes Proportionalglied 71 (Ständerwiderstand  $R_s$ ) sowie zwei Multiplizierer 66, 67.  
15  
20

Bei dem regelungstechnischen Ersatzschaltbild der Synchronmaschine im Normalfall gemäß Figur 4 wird einem zehnten Summationspunkt 110 eine Antriebs-Längsspannung  $U_d$  zugeführt. Aus der Ausgangsgröße des zehnten Summationspunktes 110 bildet ein PT1-Längsanteil 115 einen Antriebs-Längsstrom  $I_{sd}$ , der neben der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  (Winkelgeschwindigkeit des d-q-Koordinatensystems) einem dritten Multiplizierer 113 als Eingangsgröße dient. Die mit der Ständerinduktivität  $L_s$  gewichtete Ausgangsgröße des dritten Multiplizierers 113 dient einem elften Summationspunkt 111 neben einer Antriebs-Querspannung  $U_q$  und der negativen Polradspannung  $U_p$  (gebildet aus dem Produkt von Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  und einem magnetischen Fluß  $\psi_p$ ) mit negativem Vorzeichen als Eingangsgröße.  
30 Ein PT1-Queranteil 116 ermittelt aus der Ausgangsgröße des elften  
35

Summationspunktes 111 einen Antriebs-Querstrom  $I_{sq}$ . Daraus bildet  
 ein die Polpaarzahl  $p$  und den magnetischen Fluß  $\psi_p$  berücksichti-  
 gender Proportionalitätsfaktor 118 ( $3/2 \cdot p \cdot \psi_p$ ) eine elektri-  
 sches Moment  $M_{el}$ , von dem in einem zwölften Summationspunkt  
 5 112 ein Lastmoment  $M_l$  abgezogen wird. Die resultierende Grö-  
 ße verarbeitet ein Integrator 119, gewichtet mit einem rezi-  
 proken Massenträgheitsmoment  $J$ , zu einer Winkelgeschwindig-  
 keit  $\omega_m$  des Läufers. Wird die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_m$  des Läu-  
 fers mit der Polpaarzahl  $p$  (Bezugszeichen 120) multipliziert, er-  
 10 gibt sich die Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  (Winkelgeschwindigkeit  
 des d-q-Koordinatensystems). Diese wird den beiden Multipli-  
 zierern 113, 114 jeweils als zweite Eingangsgröße zugeführt.  
 Die mit der Ständerinduktivität  $L_s$  gewichtete Ausgangsgröße  
 des vierten Multiplizierers 114 verwendet der zehnte Summa-  
 15 tionspunkt 110 als Eingangsgröße.

Das regelungstechnische Ersatzschaltbild der Synchronmaschi-  
 ne im Fehlerfall gemäß Figur 5 unterscheidet sich von dem in  
 Figur 4 dargestellten Normalfall in folgender Weise. An den  
 20 elften Summationspunkt 111 wird nunmehr lediglich die mit  
 einem Faktor  $\cos(\alpha)$  117<sup>~</sup> gewichtete Polradspannung  $U_p$  ( $U_p =$   
 $\omega \cdot \psi_p$ ) negativ zurückgeführt.  $\alpha$  ist der Versatzwinkel des  
 Drehzahl-Lage-Gebers 12, bezogen auf seine ursprüngliche An-  
 ordnung im fehlerfreien Betrieb. Durch den Geberversatz  $\alpha$   
 gelangt auch an den zehnten Summationspunkt 110 eine mit dem  
 Faktor  $\sin(\alpha)$  121<sup>~</sup> gewichtete Polradspannung  $U_p$ . Die Auswir-  
 kungen des Geberversatzes  $\alpha$  schlagen sich auch in dem Pro-  
 portionalitätsfaktor 118<sup>~</sup> mit dem Faktor  $\cos(\alpha)$  nieder.

In Figur 6 ist das Überwachungskonzept der Asynchronmaschine  
 gezeigt. In der Regelung 78 gemäß Figur 2 ist die in Figur 3  
 dargestellte Längsspannungsüberwachung 79 integriert. Zu-  
 sätzlich ist ein Drehzahlüberwachungsmodell 89 als Meßsy-  
 stemmodell vorgesehen, dem die Querspannungs- und Querstrom-  
 35 Sollwerte  $U_Q\_SOLL$ ,  $I_Q\_SOLL$ , der Längsspannungs-Istwert

ID\_IST sowie der Fluß-Istwert zugeführt sind. Als Ausgangsgröße stellt das Drehzahlüberwachungsmodell 89 die Schätzdrehzahl  $n_{\text{modell}}$  einem Vergleicher 91 sowie einem Umschalter 93 zur Verfügung. Der Umschalter 93 erhält ein Modell-Fehlersignal 92 als Ausgangssignal des Vergleichers 91 und das Längsspannungs-Fehlersignal 75 als Ausgangsgröße des Komparators 73 der Längsspannungsüberwachung 79 gemäß Figur 3.

In Figur 7 ist das Drehzahlüberwachungsmodell 89 näher gezeigt. Der Querstrom-Sollwert  $IQ_{\text{SOLL}}$  gelangt, mit einem Proportionalglied „Rotorwiderstand“ 96 gewichtet, an einen ersten Dividierer 99 und über ein Proportionalglied „Statorwiderstand“ 95 mit negativem Vorzeichen an einen siebten Summationspunkt 102. Der siebte Summationspunkt 102 erhält außerdem den Querspannungs-Sollwert  $UQ_{\text{SOLL}}$  als Eingangsgröße und liefert die resultierende Ausgangsgröße einem achten Summationspunkt 103. Dem ersten Dividierer 99 und einem zweiten Dividierer 100 wird der Fluß-Istwert zugeführt. Die Ausgangsgröße des ersten Dividierers 99 wird einem neunten Summationspunkt 104 invertiert aufgeschaltet. Der zweite Dividierer 100 erhält als weitere Eingangsgröße die Ausgangsgröße des achten Summationspunktes 103 und liefert seine Ausgangsgröße sowohl an den neunten Summationspunkt 104 (mit negativem Vorzeichen) als auch - gewichtet mit einem Proportionalglied „Steuinduktivität“ 97 - an einen Multiplizierer 105. Der Multiplizierer 105 erhält als weitere Eingangsgröße den Querstrom-Istwert  $IQ_{\text{IST}}$  und gibt die resultierende Ausgangsgröße mit negativem Vorzeichen an den achten Summationspunkt 103 ab. Ein Integrierer 107 verarbeitet die Ausgangsgröße des neunten Summationspunktes 104 zu einer Schätzdrehzahl  $n_{\text{modell}}$ .

Gemäß der Theorie der feldorientierten Regelung einer Synchron- bzw. Asynchronmaschine kann der von den Stromsensoren

20 erfaßte Ständerstrom  $I_1$ ,  $I_3$  nach Überführung in ein rotorbezogenes orthogonales Zweiphasensystem (d-q-Koordinatensystem) in zwei Komponenten, nämlich dem Querstrom-Istwert  $I_{Q\_IST}$ , und dem Längsstrom-Istwert  $I_{D\_IST}$  aufgeteilt werden. Die Längsstromkomponente  $I_D$  baut das magnetische Feld der Maschine auf und ist in der gleichen Richtung wie das Feld orientiert. Der Querstrom  $I_Q$  steht rechtwinklig auf dem Längsstrom  $I_D$  und bildet mit diesem den Summenstrom, der mit der Umlauffrequenz  $\omega$  des Felds umläuft. Der Querstrom  $I_{Q\_IST}$  bildet das Drehmoment des elektrischen Antriebs 10, während der Längsstrom  $I_{D\_IST}$  die flußbildende Stromkomponente darstellt.

Der nachfolgend beschriebene Plausibilitätstest 34 überwacht den Drehzahlregelkreis auf plausible Beschleunigungsdaten dann, wenn der Querstrom-Sollwert  $I_{Q\_SOLL}$  den Maximalstrom  $I_{max}$  erreicht, den der Drehzahlregler 44 gerade noch ausgeben darf. Das Antriebssystem wird mit einem maximalen Moment beaufschlagt. Durch zweimaliges Differenzieren des Ausgangssignals des Drehzahl-Lage-Gebers 12 wird die Ist-Beschleunigung  $a_{ist}$  ermittelt. Ist die Ist-Beschleunigung  $a_{ist}$  kleiner als eine vorgebbare Minimalbeschleunigung, wird ein Fehlersignal generiert. Der elektrische Antrieb 10 könnte sich im Blockierzustand befinden. Eine entsprechende Anzeige mit der Fehlermeldung „blockiert“ kann vorgesehen werden. Besitzt die Istbeschleunigung  $a_{ist}$  im Vergleich zu dem Querstrom-Sollwert  $I_{Q\_SOLL}$  ein nicht korrespondierendes Vorzeichen, wird ebenfalls eine Fehlermeldung erzeugt. In diesem Fall könnte der Drehzahl-Lage-Geber 12 verdreht, oder die Motorzuleitungen falsch angeschlossen sein. Anhand des Querstrom-Istwerts  $I_{Q\_IST}$  kann eine Unterbrechung der Energieversorgung des Antriebs 10 festgestellt werden, wenn trotz maximal zulässigem Querstrom-Sollwert  $I_{Q\_SOLL}$  kein Querstrom-Istwert  $I_{Q\_IST}$  ermittelt werden kann. Der Plausibilitätstest 34 dient insbesondere der schnellen Reaktion

auf einen nicht korrekt justierten Drehzahl-Lage-Geber 12 oder auf eine fehlende mechanische Kopplung zwischen Drehzahl-Lage-Geber 12 und Antrieb 10.

5 Die nachfolgende Längsspannungsüberwachung 79 nach Figur 3 dient insbesondere der Ermittlung eines schleifenden Drehzahl-Lage-Gebers 12. Ein schleifender Drehzahl-Lage-Geber 12 zeigt eine von der tatsächlichen Drehzahl des Antriebs 10 abweichende Drehzahl an. Für die Synchronmaschine wird im Normalfall der Drehzahl-Lage-Geber 12 so auf den Antrieb 10 eingestellt, daß sich bei einem gemessenen Polradwinkel von 0° das Polrad und die Ständerwiderstandsachse der Phase U gegenüberstehen. Eine lockere Verschraubung des Drehzahl-Lage-Gebers 12 führt nun dazu, daß die Polradlage nicht mehr mit der gedachten Längsachse der Stromregelung übereinstimmt. In diesem Fall ist das auf das Polrad bezogene Koordinatensystem der Stromregelung um den Gebersversatz  $\alpha$  zum Polrad hin verdreht. Für die weitere Berechnung wird zur Vereinfachung angenommen, daß sich der Gebersversatz  $\alpha$  bezogen auf den Polradwinkel  $\varepsilon$  kaum ändert ( $\alpha = \text{konst}$ ).

#### Ständerbezogenes Koordinatensystem

##### Normalfall

##### Fehlerfall

$$\alpha = 0$$

$$\alpha \text{ konstant} \neq 0$$

$$\underline{\psi}_p = \psi_p * e^{j\varepsilon}$$

$$\underline{\psi}_p = \psi_p * e^{j(\varepsilon + \alpha)}$$

30

(1.1)

(1.2.)

$$\underline{U}_p = j \psi_p * e^{j\varepsilon} * \frac{d\varepsilon}{dt}$$

$$\underline{U}_p = j \psi_p * e^{j\varepsilon} * \frac{d\varepsilon}{dt}$$

# Polradbezogenes Koordinatensystem

## Normalfall

## Fehlerfall

5

$$\underline{U}'_p = \underline{U}_p * e^{j\varepsilon}$$

$$\underline{U}'_p = \underline{U}_p * e^{j\varepsilon + \alpha}$$

$$\underline{U}'_p = j\psi_p * e^{j\varepsilon} * \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (1.3.)$$

$$\underline{U}'_p = j\psi_p * e^{j\varepsilon + \alpha} * \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (1.4.)$$

10

$$\underline{U}'_p = jU_p$$

$$\underline{U}'_p = jU_p [\cos(\alpha) + \sin(\alpha)]$$

Regelungstechnisches Modell in polradfesten Komponenten

15

Unter Bezugnahme auf die Figuren 4 (regelungstechnisches Ersatzschaltbild der Synchronmaschine im Normalfall) und Figur 5 (regelungstechnisches Ersatzschaltbild der Synchronmaschine im Fehlerfall) ergeben sich für die beiden Fälle folgende Gleichungen:

## Normalfall

20

$$U_d = R_s * I_{sd} + L_s \frac{dI_{sd}}{dt} - \omega * L_s I_{sq}$$

(1.5.)

25

$$U_q = R_s * I_{sq} + L_s \frac{dI_{sq}}{dt} - \omega * L_s I_{sd} + U_p$$

## Fehlerfall

30

$$U_d = R_s * I_{sd} + L_s \frac{dI_{sd}}{dt} - \omega * L_s I_{sq} - U_p \sin(\alpha)$$

(1.6.)

$$U_q = R_s * I_{sq} + L_s \frac{dI_{sq}}{dt} - \omega * L_s * I_{sd} + U_p \cos(\alpha)$$

mit  $I_{sq}$   $U_q$  Antriebs-Querstrom- bzw. -spannungskomponente,  
 $I_{sd}$   $U_d$  Antriebs-Längsstrom- bzw. -spannungskomponente  
 $\omega$  : Winkelgeschwindigkeit des d-q-Koordinatensystems  
 $\Psi_p$  : Magnetische Fluß, erzeugt durch das permanent erregte Polrad  
 $L_s$  : Ständerinduktivität  
 $R_s$  : Statorwiderstand

Im Normalfall ( $\alpha = 0$ , kein Versatz des Drehzahl-Lage-Gebers 12) sind die d-q-Koordinatensysteme von Regler 78 und Antrieb 10 identisch. Bei Vernachlässigung des Übertragungsverhaltens des Umrichters 14 stimmen die von der Regelung 78 vorgegebenen Komponenten UD\_SOLL bzw. UQ\_SOLL mit den Spannungs-Komponenten im Antrieb 10  $U_d$  bzw.  $U_q$  überein.

Im Fehlerfall ( $\alpha \neq 0$ ) sind die d-q-Koordinatensysteme von Regler 78 und Antrieb 10 nicht mehr identisch. Die Quer- und Längskomponenten im Antrieb ( $U_d$ ,  $I_{sd}$ ,  $U_q$ ,  $I_{sq}$ ) weichen aufgrund des Geberversatzes ( $\alpha \neq 0$ ) von denen im Regler 78 ( $UD\_SOLL$ ,  $ID\_SOLL$ ,  $UQ\_SOLL$ ,  $IQ\_SOLL$ ) ab. Die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_m$  des Läufers wird von dem schleifenden Drehzahl-Lage-Geber 12 erfaßt und nach Multiplikation mit der Polpaarzahl  $p$  der Längsspannungsüberwachung 79 gemäß Figur 3 als Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  zugeführt. Die induzierte Spannung  $\Psi_p * \omega$  (Polradspannung  $U_p$ ) tritt nicht mehr allein in der q-Achse im Regler 78 auf. Dadurch ergibt sich eine signifikante Änderung der Spannung  $U_d$  in der d-Achse ( $u_m - U_p * \sin(\alpha)$ ). Da der Längsstromregler 54 weiterhin den Längsstrom  $I_d$  auf Null regelt, ist die Änderung der Spannung  $U_d$  in der d-Achse im Spannungssollwert erkennbar. Aufgrund der Beschaffenheit des Längsstromreglers 54 spiegelt sich diese vom Geberversatz ( $\alpha \neq 0$ ) herrührende Spannungsänderung im Integrator 64 wieder.

Daher eignet sich die Ausgangsgröße des Integrators 64 zur Ermittlung, ob ein Gebersversatz aufgetreten ist. Hierzu wird der Ausgangswert des Integrators 64 in dem Komparator 73 mit dem Grenzwert G verglichen. Im Idealfall (Gebersversatz  $\alpha = 0$ , keine Systemtotzeiten, gleichbleibend genaue Angaben der Modellparameter  $L_s$  und  $R_s$ ) nimmt der Integrator 64 den Wert Null an. Im Normalfall jedoch gibt der Integrator 64 auch ohne Gebersversatz ( $\alpha = 0$ ) ein konstantes Signal ab, das durch die Totzeitspannung (Schaltertotzeit der PWM-Stufe), die induzierte Polradspannung (in Folge der Totzeit des Längsstromreglers 54) und durch schwankende Modellparameter bedingt ist. Die genannten Parameter können jedoch vorab berechnet werden und in Form des Grenzwerts G berücksichtigt werden. Wird der Grenzwert G um einen bestimmten Wert überschritten, so resultiert der Fehler aus dem Gebersversatz  $\alpha$ . In diesem Fall wird ein Fehlersignal 75 erzeugt, beispielsweise verbunden mit der Meldung „Schleifender Geber“.

Prinzipiell könnte zwar auch der I-Anteil des Querstromreglers 48 zur Gebersversatzauswertung herangezogen werden. Unter Umständen wird jedoch eine Vorrausberechnung durch einen schwankenden Querstromsollwert IQ\_SOLL erschwert.

Figur 2 zeigt die Reglerstruktur einer Asynchronmaschine. Der wesentliche Unterschied zur Synchronmaschine besteht darin, daß der Längsstrom-Sollwert ID\_SOLL nicht fest auf dem Wert Null liegt, sondern in der gezeigten Weise erzeugt wird. Für die Erfindung ist die Art der Erzeugung jedoch nicht wesentlich, sondern soll nur im Zuge der Vollständigkeit erwähnt werden, da sie als Eingangsgrößen der Längsspannungsüberwachung 79 nach Figur 2 dienen. Damit können die Längsspannungsüberwachung 79 gemäß Figur 3 und der Plausibilitätstest 34 auch für die Asynchronmaschine zum Einsatz kommen.

Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 6 ist für die Asynchronmaschine ein duales Meßsystemüberwachungskonzept realisiert. Die Längsspannungsüberwachung 79 ist bei niedrigen Frequenzen identisch mit der der Figur 3.

Aufgrund von Parametertoleranzen (Temperaturabhängigkeit des Läuferwiderstandes, Sättigungserscheinungen) kann dieses Verfahren bei höheren Frequenzen nur fehlerbehaftet angewendet werden. Kompensiert werden diese Parameterabweichungen über eine zusätzliche Regelung, die den Transformationswinkel  $\phi$  so verstellt, daß die induzierte Spannung in der d-Achse Null ist. Dies führt einerseits dazu, daß das Verfahren der Längsspannungsüberwachung 79 bei hohen Drehzahlen nicht angewendet werden kann, andererseits daß auch bei schleifendem Geber 12 die d-q-Koordinatensysteme in der Regelung 78 und im Antrieb 10 ausreichend gut übereinstimmen. Dadurch ist es möglich, aus den internen Größen des Reglers 79 über ein Drehzahlüberwachungsmodell 89 eine ausreichend genaue Drehzahlinformation  $n_{\text{modell}}$  zu gewinnen. Das Ausgangssignal des Komparators 73 gelangt als Längsspannungs-Fehlersignal 75 an den Umschalter 93. Bei niedrigen Werten des Schätzwertes  $n_{\text{modell}}$  leitet der Umschalter 93 das Fehlersignal 75 der Längsspannungsüberwachung 79 an den Ausgang als resultierendes Fehlersignal 94 weiter. Andernfalls leitet der Umschalter 93 das von dem Vergleicher 91 generierte Modell-Fehlersignal 92 weiter. Der Vergleicher 91 ermittelt eine signifikante Abweichung des von dem Drehzahl-Lage-Gebers 12 abgegebenen Signals mit dem Ausgangssignal des Drehzahlüberwachungsmodells 89, der Schätzgröße  $n_{\text{modell}}$  der Ist-Drehzahl. Der Umschalter 93 wird in Abhängigkeit von der Schätzgröße  $n_{\text{modell}}$  angesteuert.

Das Drehzahlüberwachungsmodell 89 läßt sich der Figur 7 entnehmen. Es bildet im wesentlichen die Regelstrecke des An-

triebs 10 nach. Als Eingangsgrößen werden von dem Regler 78 gebildete Größen verwendet wie der Querstrom-Sollwert IQ\_SOLL, der Querspannungs-Sollwert UQ\_SOLL, der Längsstrom-Istwert ID\_IST und der Fluss-Istwert FLUSS\_IST. Außerdem fließen Parameter des Antriebs 10 wie Ständerwiderstand 95, Rotorwiderstand 96 oder Ständerinduktivität 97 ein.

17.07.00 Lc/Ep

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10        Ansprüche

1. Vorrichtung zur Überwachung eines Meßsystems eines elektrischen Antriebs, umfassend zumindest ein Meßsystem (12) zur Erfassung zumindest einer Meßgröße eines elektrischen Antriebs (10), zumindest einen Regler (78), dem zumindest die von dem Meßsystem (12) erfaßte Meßgröße zugeführt ist, und der zumindest eine Stellgröße zur Ansteuerung des Antriebs (10) erzeugt, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest eine Signalverarbeitung (34, 73, 79, 89, 91, 93) zur Fehlererkennung des Meßsystems (12) vorgesehen ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Signalverarbeitung (34, 73, 79, 89, 91, 93) zur Fehlererkennung des Meßsystems (12) zumindest eine von dem Regler (78) erzeugte Größe (IQ\_SOLL, IQ\_IST, UQ\_SOLL, FLUSS\_IST, 65) zugeführt ist.

3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Signalverarbeitung (34, 73, 79, 89, 91, 93) zur Fehlererkennung des Meßsystems (12) zumindest eine von dem Meßsystem (12) erzeugte und/oder daraus abgeleitete Größe (a\_ist) zugeführt ist.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalverarbeitung (34, 73, 79, 89,

91, 93) zur Fehlererkennung des Meßsystems (12) eine für einen Fehlerfall des Meßsystems (12) charakteristische Größe mit einem Grenzwert (G, n\_modell, n\_sensor) vergleicht und in Abhängigkeit von dem Vergleich ein Fehler des Meßsystems (12) anzeigendes Fehlersignal (35, 75, 92, 94) erzeugt.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Signalverarbeitung (34, 73, 79, 89, 91, 93) als die für einen Fehlerfall des Meßsystems (12) charakteristische Größe ein Maß für eine Änderung der Polradspannung (Up) des Antriebs (10) zugeführt ist.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als eine vom Regler (78) erzeugte Größe ein in einem Längsstromregler (54) und/oder Querstromregler (48) gebildetes Signal (65) und/oder ein Integralanteil (65) der Signalverarbeitung (34, 73, 79, 89, 91, 93) zugeführt ist.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Grenzwert (G) von zumindest einem Streckenparameter abhängt, der eine Regelabweichung in dem Regler (78) bewirkt.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Fehlererkennung des Meßsystems ein Meßsystemmodell (89) vorgesehen ist, das zumindest einen für das Meßsystem (12) zu erwartenden Schätzwert (n\_modell) erzeugt.

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Umschalter (93) das Fehlersignal (75) der Signalverarbeitung (79) in Abhängigkeit von dem zu erwartenden Schätzwert (n\_modell) weiterleitet.

10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalverarbeitung (34) aktiviert wird in Abhängigkeit von einer von dem Regler (78) erzeugten Größe (IQ\_SOLL) und/oder dann, wenn eine vom Regler (78) erzeugte Größe (IQ\_SOLL) einen bestimmten Wert (IQ\_MAX) annimmt, vorzugsweise einen maximal zulässigen Sollwert.

11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalverarbeitung (34, 73, 79, 89, 91, 93) ein Vergleicher (91) umfaßt, der ein Fehler-signal (92, 94) erzeugt abhängig von einem Ausgangssignal des Meßsystems (12) und dem zu erwartenden Schätzwert (n\_modell).

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Auswahlvorrichtung (93) vorgesehen ist, die in Abhängigkeit von einer Auswahlgröße eine Auswahl trifft zwischen einer ersten Fehlerüberwachung (79) und einer zweiten Fehlerüberwachung (89, 91).

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswahlvorrichtung (93) in Abhängigkeit von dem zu erwartenden Schätzwert (n\_modell) eine Auswahl trifft zwischen einer ersten Fehlerüberwachung (79) und einer zweiten Fehlerüberwachung (89, 91).

14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßsystemmodell (89) den Schätzwert (n\_modell) in Abhängigkeit von zumindest einer von dem Regler (78) erzeugten oder davon abhängenden Reglergröße (IQ\_SOLL, UQ\_SOLL, ID\_IST, FLUSS\_IST) bildet.

17.07.00 Lc/Ep

5

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Vorrichtung zur Überwachung eines Meßsystems

Zusammenfassung

15

Es wird eine Vorrichtung zur Überwachung eines Meßsystems eines elektrischen Antriebs vorgeschlagen, umfassend ein Meßsystem (12) zur Erfassung zumindest einer Meßgröße eines elektrischen Antriebs (10), zumindest einen Regler (78), dem zumindest die von dem Meßsystem (12) erfaßte Meßgröße zuge-

20

führt ist, und der zumindest eine Stellgröße zur Ansteuerung des Antriebs (10) erzeugt, wobei zumindest eine Signalerfassung (34, 73, 79, 89, 91, 93) zur Fehlererkennung des Meßsystems (12) vorgesehen ist.

(Figur 1)

30

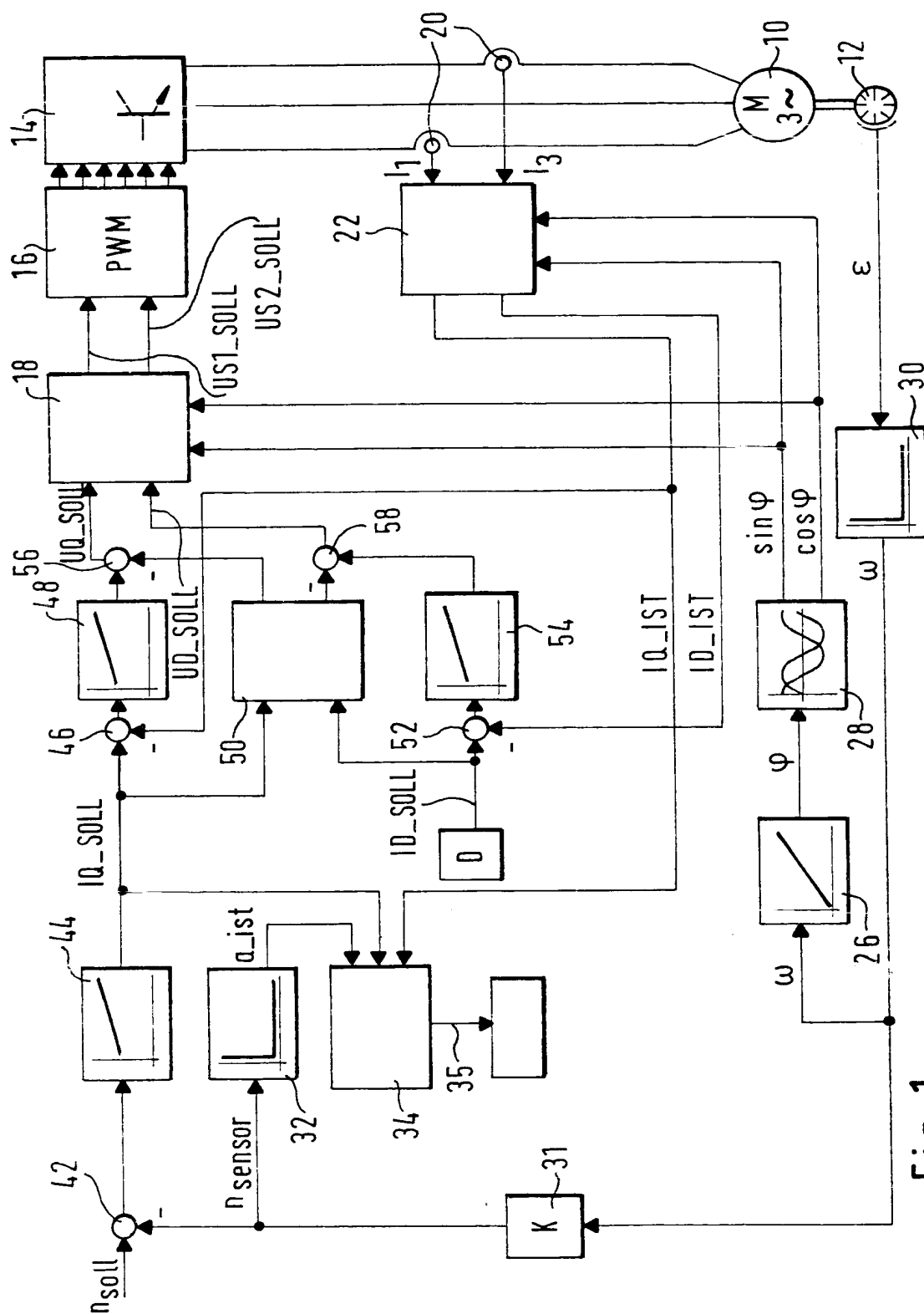


Fig. 1

2 / 7

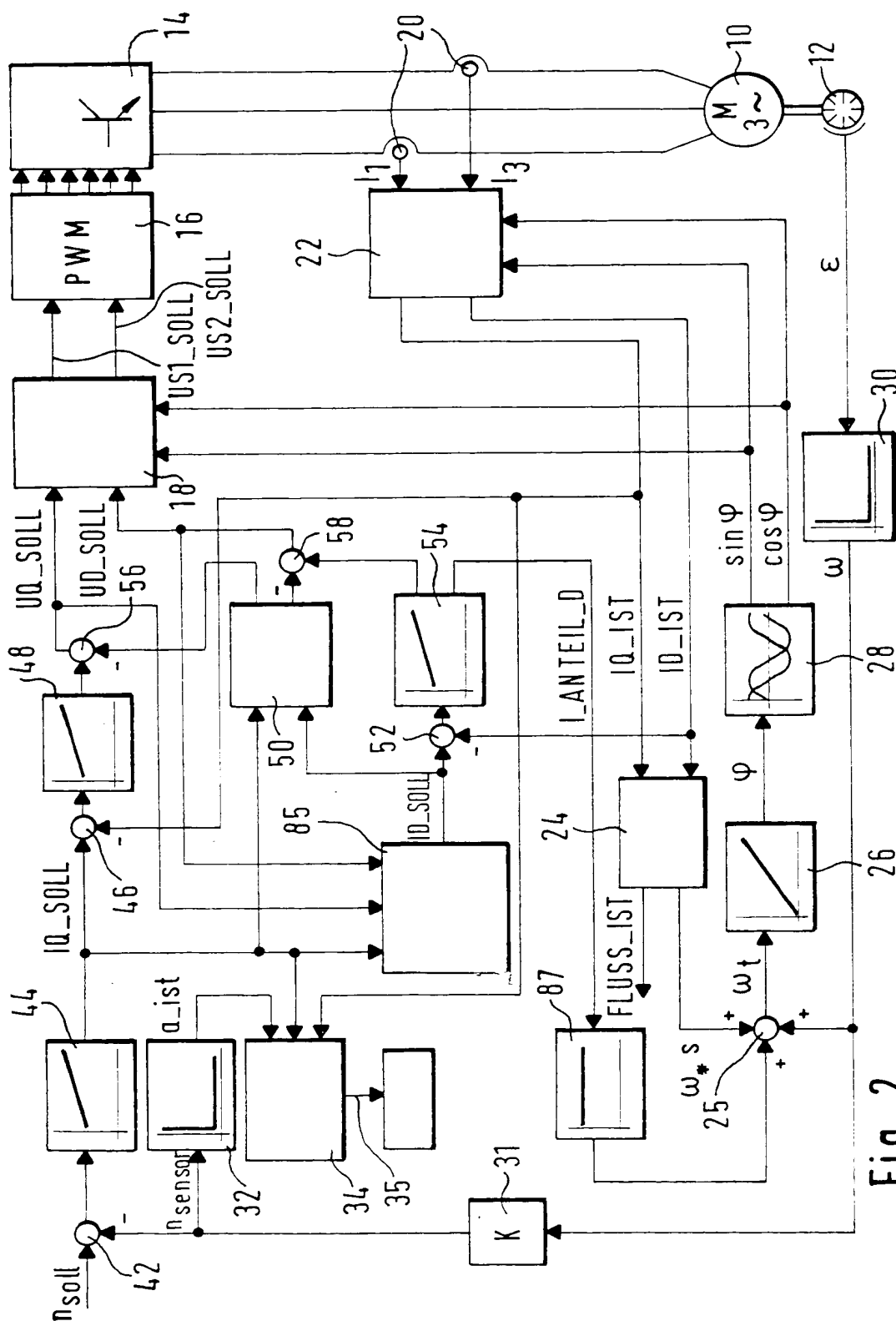


Fig. 2

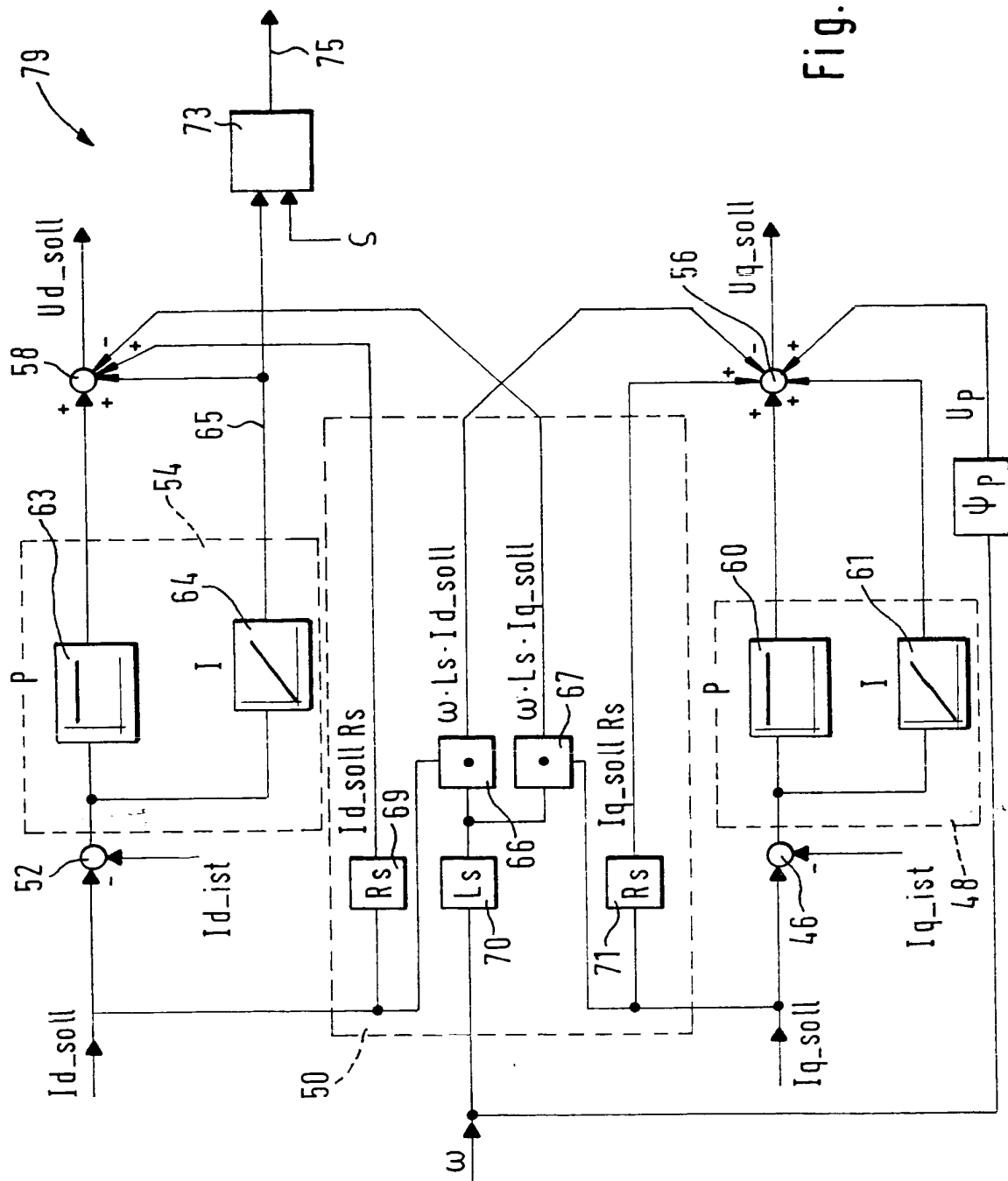


Fig. 3

4 / 7

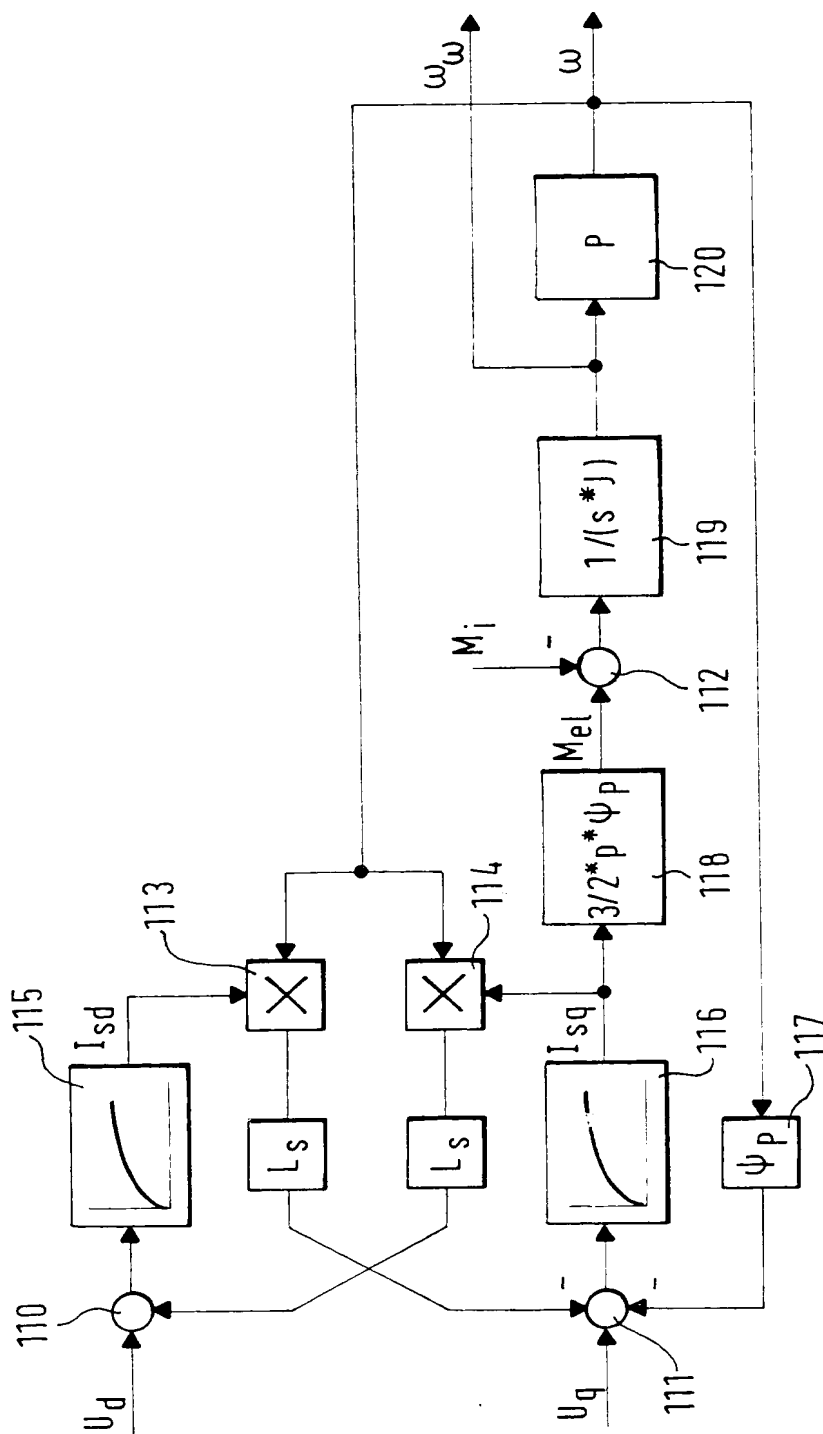


Fig. 4

5/7

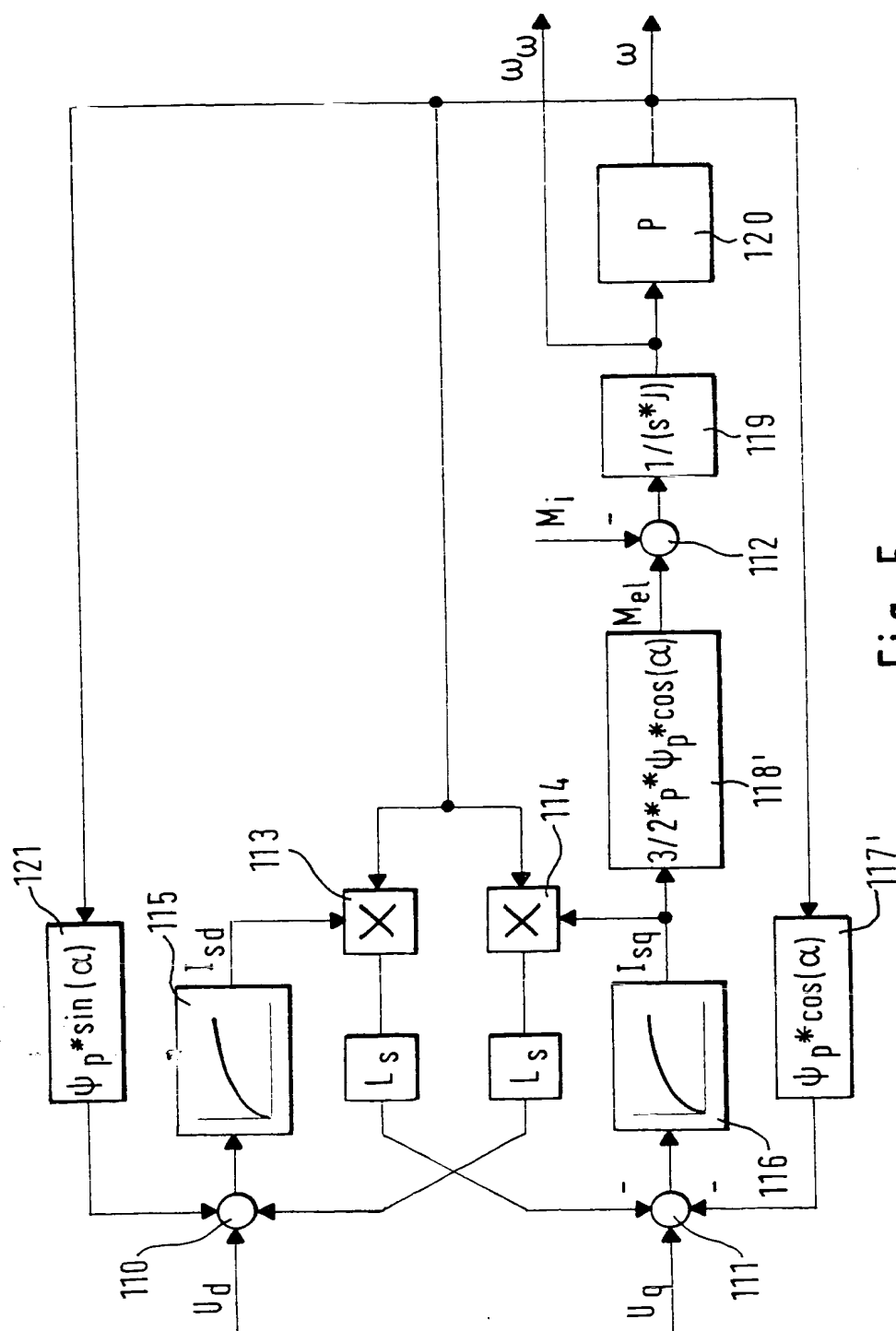


Fig. 5

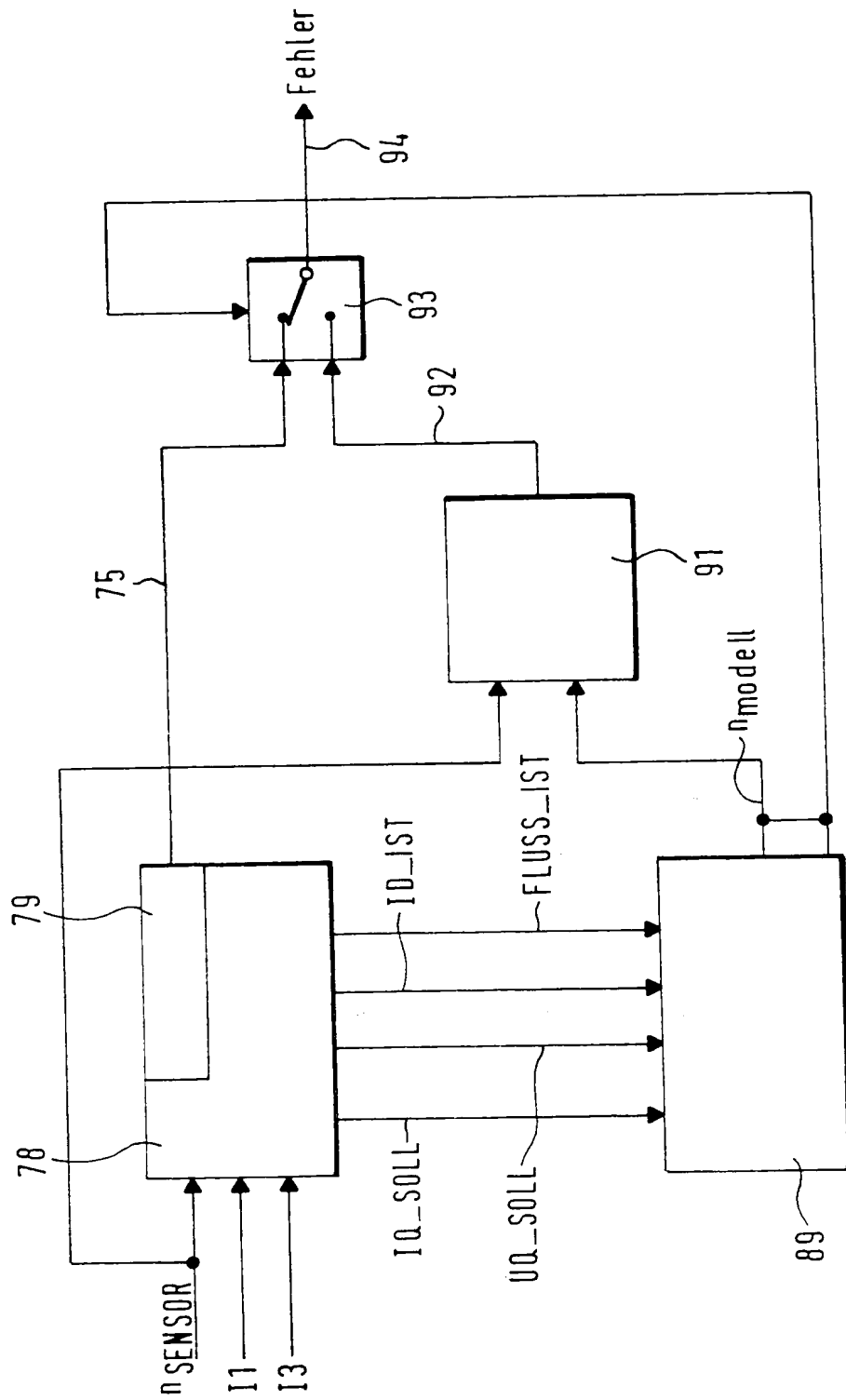


Fig. 6

7/7

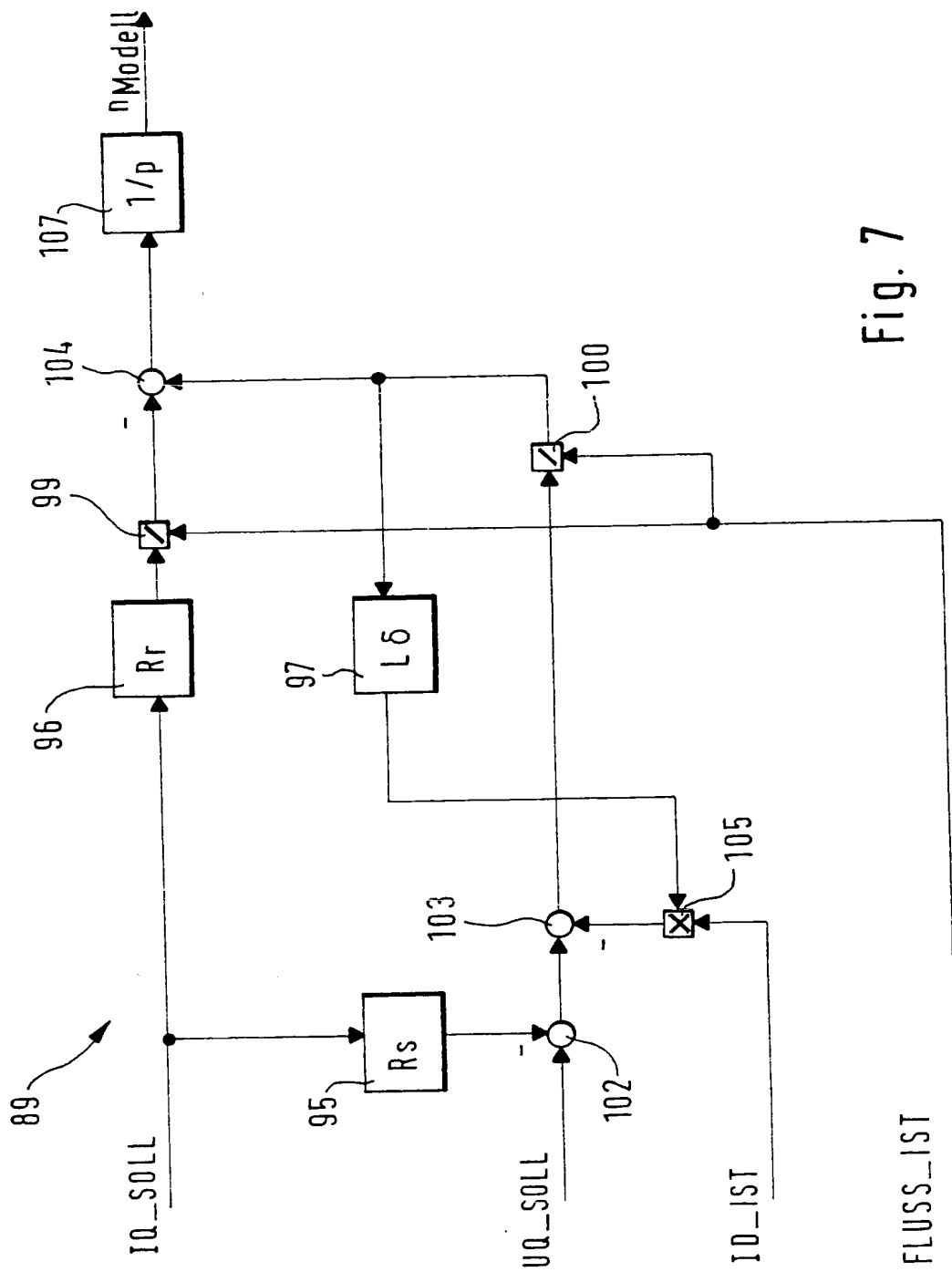


Fig. 7



1 . . . .